بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم و فناوری‌های نوین

گروه بیوتکنولوژی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی گرایش بیوتکنولوژی

بررسی تأثیر عوامل فعال سطحی زیستی بر تغییر ترشوندگی سطوح

استادان راهنما:

دکتر داوود بی‌ریا – دکتر سید شهاب‌الدین آیت‌اللهی

استاد مشاور:

دکتر مسعود بهشتی

پژوهشگر:

حمیده خواجه‌پور

آبان ماه 1391

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم و فناوری های نوین

گروه بیوتکنولوژی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی گرایش بیوتکنولوژی خانم حمیده خواجه‌پور تحت عنوان

بررسی تأثیر عوامل فعال سطحی زیستی بر تغییر ترشوندگی سطوح

در تاریخ ..... توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه ..... به تصویب نهایی رسید.

1- استادان راهنمای پایان نامه دکتر داوود بی ریا با مرتبه ی علمی استادیار امضا

و دکتر سید شهاب الدین آیت اللهی با مرتبه علمی استاد امضا

2- استاد مشاور پایان نامه دکتر مسعود بهشتی با مرتبه ی علمی استادیار امضا

3- استاد/استادان داور داخل گروه ..... با مرتبه ی علمی امضا

4- استاد/استادان داور خارج از گروه دکتر ..... با مرتبه ی علمی امضا

امضای مدیر گروه

تقدیم به

دو فرشته زندگی‌ام

مادر عزیز و پدر مهربانم

سپاسگزاری

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که توفیق به پایان رساندن این پژوهش را عنایت فرمود. بر خود لازم می‌دانم از استاد بسیار گرانقدر جناب آقای دکتر آیت اللهی به جهت راهنمایی‌های بی‌دریغ، مشفقانه و اثرگذار در طول پروژه، از استاد محترم جناب آقای دکتر بی‌ریا به خاطر حمایت‌های همه جانبه و مجدانه و از استاد مشاور پروژه جناب آقای دکتر بهشتی در همراهی و همگامی با اینجانب نهایت قدردانی و سپاسگزاری خود را ابراز دارم.

همکاری صمیمانه تمامی دوستان در مرکز ازدیاد برداشت نفت دانشگاه شیراز نیز قابل ستایش و تقدیر است.

چکیده

ازدیاد برداشت میکروبی نفت یک روش اقتصادی، مؤثر و سازگار با محیط زیست است که برای برداشت نفت از مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد. مکانیسم‌های مؤثر در ازدیاد برداشت نفت در نتیجه فعالیت باکتری در مخازن عبارتند از: کاهش کشش بین سطحی (کاهش فشار مویینگی)، تغییر ترشوندگی، تولید گاز یا حلال، بستن انتخابی مسیرهای با تراوایی بالاتر، شکستن مولکول‌های سنگین نفتی و کاهش ویسکوزیته. در این میان، ترشوندگی یکی از مهمترین عوامل در بازیافت نفت است زیرا ترشوندگی یک محیط متخلخل از فاکتورهای اصلی کنترل‌کننده مکان نسبی جریان و توزیع سیالات به شمار رفته و بر کلیه خواص اساسی آن از قبیل فشار مویینگی، تراوایی نسبی، رفتار سیلاب‌زنی مخزن، خواص الکتریکی و مقدار آب و نفت باقی‌مانده در مخزن اثر می‌گذارد. بنابراین تأثیر باکتری بر سطح و بررسی مکانیسم‌های تغییر ترشوندگی توسط باکتری و اثر پارامترهای مختلف بر آن یکی از مسائل مهم و مؤثر در فرآیند ازدیاد برداشت میکروبی نفت است. میکرومدل‌های شیشه‌ای به عنوان نمونه‌های شبیه‌سازی شده سنگ مخزن در بررسی مکانیسم‌های موجود در محیط‌های متخلخل، جهت بهبود دانش محققان در مورد رفتار سیال‌های گوناگون درون سنگ مخزن کاربرد وسیعی را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی‌ها با استفاده از یک گونه انتروباکتر جدا شده از خاک آلوده مخازن نفتی با قابلیت تحمل دما و شوری بالا و تولید بیوسورفکتانت در میکرومدل‌های شیشه‌ای صورت گرفته‌اند. نفت‌دوستی پایدار میکرومدل‌ها با استفاده از روش زمان دهی با نفت خام حاصل شده و تأثیر تغییر ترشوندگی بر ازدیاد برداشت نفت، توزیع میکروسکوپی سیالات در میکرومدل و همچنین اثر آن بر نمودارهای تراوایی نسبی مورد مطالعه قرار گرفته است. میکرومدل مجهز به یک دوربین و یک دستگاه دیجیتال اندازه‌گیری فشار بوده و تصاویر تهیه شده در مراحل مختلف آزمایش با هدف تعیین میزان اشباعیت آب و نفت باقی‌مانده با استفاده از زبان برنامه نویسی LabVIEW آنالیز شدند.

نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپی و همچنین میزان برداشت نفت که با نتایج تراوایی نسبی نمونه نیز مطابقت داشتند تغییر ترشوندگی مدل‌های نفت‌دوست را به سمت آب‌دوستی نشان دادند. این نتایج، ازدیاد برداشت را در مدل‌های نفت‌دوست توسط محلول باکتریایی تا 127% و در آزمایش تزریق بیوسورفکتانت فاقد سلول تا 10٪ نشان دادند. سطوح آب‌دوست در مجاورت باکتری و محصولات آن‌ها تغییر ترشوندگی چشمگیری از خود نشان ندادند. با توجه به بیشتر بودن میزان تغییر ترشوندگی و میزان ازدیاد برداشت نفت مدل‌های نفت‌دوست در حضور سلول‌های باکتری، چسبیدن باکتری و تشکیل بیوفیلم به عنوان مکانیسم غالب تغییر ترشوندگی سطح شیشه نفت‌دوست عنوان شد.

واژه‌های کلیدی: ازدیاد برداشت نفت میکروبی، میکرومدل، بیوسورفکتانت

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مبانی تحقیق **1**

1ـ1ـ مکانیسم‌های افزایش برداشت در روش MEOR **1**

1-1-1- کاهش کشش بین‌سطحی 2

1-1-2- بستن انتخابی مسیرها 2

1-1-3- کاهش ویسکوزیته 3

1-1-4- شکستن مولکول‌های بزرگ نفتی 3

1-1-5- تغییر ترشوندگی 3

1ـ2ـ ترشوندگی **5**

1ـ2ـ1ـ ترشوندگی آب‌دوست 6

1ـ2ـ2ـ ترشوندگی خنثی 7

1ـ2ـ3ـ ترشوندگی جزیی 7

1ـ2ـ4ـ ترشوندگی مخلوط 8

1ـ2ـ5ـ ترشوندگی نفت‌دوست 8

1ـ3ـ کشش بین‌سطحی **9**

1-4- نیروی مویینگی **10**

1-5- اندازه‌گیری ترشوندگی **13**

1-5-1- روش‌های کیفی 13

1-5-2- روش‌های کمی 13

1-5-2-1- زاویه تماس 14

1ـ6ـ تغییر ترشوندگی **18**

1ـ6ـ1ـ فرآیند زمان‌دهی با نفت خام 19

1-6-1-1- اثر جنس سنگ بر تغییر ترشوندگی 19

1-6-1-2- اثر نوع نفت خام بر تغییر ترشوندگی 20

عنوان **صفحه**

1-6-1-3- اثر ترکیب آب نمک بر تغییر ترشوندگی 21
1-6-1-4- اثر دما برتغییر ترشوندگی 22
1-6-1-5- اثر فشار بر تغییر ترشوندگی 22
1-6-2- مکانیسم‌های تغییر ترشوندگی در فرآیند زمان‌دهی با نفت خام 23
1-6-2-1- برهم‌کنش‌های قطبی 23
1-6-2-2- تشکیل رسوب آلی بر سطح سنگ 24
1-6-2-3- برهم‌کنش‌های اسید- باز 25
1-6-2-4- پیوندهای یونی 26

1-7- اهمیت ترشوندگی در بهره برداری از مخازن نفتی 28
1-7-1- اثر ترشوندگی بر رفتار سیلاب‌زنی سنگ 29
1-7-2- اثر ترشوندگی بر اشباعیت فاز باقی‌مانده 29
1-7-3- اثر ترشوندگی بر فشار مویینگی 32
1-7-4- اثر ترشوندگی بر تراوایی نسبی 36

1-8- روش‌های اندازه‌گیری تراوایی نسبی 39
1-8-1- اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی 39
1-8-2- روش تناسب 42
1-8-3- روش روابط 42

1-9- مکانیسم‌های تغییر ترشوندگی در روش MEOR 44
1-9-1- تشکیل بیوفیلم و اثر آن بر ترشوندگی سطح 44
1-9-1-1- چسبیدن باکتری‌ها به سطح 47
1-9-1-2- فاکتورهای مؤثر بر چسبیدن باکتری به سطح 48
1-9-1-3- برهم‌کنش‌های باکتری و سطح 50
1-9-2-4- اثر تشکیل بیوفیلم بر تغییر ترشوندگی 54
1-9-2- بیوسورفکتانت‌ها و مواد فعال سطحی 56
1-9-2-1- دسته‌بندی بیوسورفکتانت‌ها 57
1-9-2-2- خواص بیوسورفکتانت‌ها 60
2-9-2-3- فاکتورهای مؤثر بر تولید بیوسورفکتانت 63
1-9-2-4- کاربردهای بیوسورفکتانت‌ها 64

عنوان **صفحه**

1-9-2-5- اثر بیوسورفکتانت‌ها بر ترشوندگی سطح 66
1-9-3- اثر محصولات دیگر باکتریایی بر ترشوندگی سطوح 66

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته **68**

فصل سوم: روش تحقیق **75**

3-1- تجهیزات آزمایش 76
3-1-1- میکرومدل‌های شیشه‌ای 76
3-1-1-1- محلول اسیدی 77
3-1-2- پمپ سرنگی 78
3-1-3- دستگاه فشارسنج 78
3-1-4- میکروسکوپ دیجیتال 80
3-1-5- دوربین 80
3-1-6- نور زمینه 81
3-1-7- فرمانتور 81
3-1-8- دستگاه طیف نورسنج 82
3-1-9- دستگاه سانتریفیوژ 82
3-1-10- دستگاه آنالیز قطره 84
3-1-11- انکوباتور 86

3-2- نرم‌افزارها 87
3-2-1- نرم‌افزار گرافیکی Corel Draw X5 87
3-2-2- نرم‌افزارهای آنالیز تصویر 88

3-3- مواد 89
3-3-1- نفت خام 89
3-3-2- آب شور 92
3-3-2-1- رنگ 93
3-3-3- میکروارگانیسم 93

عنوان **صفحه**

3-3-4- محیط کشت 95
3-3-5- سطوح شیشه‌ای 97

3-4- روش‌ها 97
3-4-1- ایجاد ترشوندگی یکنواخت اولیه بر سطح شیشه 97
3-4-1-1- ترشوندگی آب‌دوستی معدنی 97
3-4-1-2- ترشوندگی آب‌دوست پایدار و یکنواخت 98
3-4-1-3- ترشوندگی نفت‌دوست پایدار و یکنواخت 98
3-4-2- تعیین مشخصات میکرومدل 99
3-4-2-1- اندازه‌گیری حجم و عمق حفره‌ها 99
3-4-2-2- اندازه‌گیری تخلخل 100
3-4-2-3- اندازه‌گیری تراوایی 100
3-4-3- آزمایش گسترش قطره 102
3-4-4- انتخاب محیط کشت و منبع کربنی مناسب 102
3-4-5- طرز تهیه محیط‌های میکروبی 106
3-4-5-1- تهیه محلول باکتریایی 106
3-4-5-2- تهیه محلول حاوی محصولات زیستی (سوپرناتانت) 106
3-4-6- بررسی روند رشد میکروارگانیسم 106
3-4-6-1- اندازه‌گیری تغییرات توده زیستی 107
3-4-6-2- اندازه‌گیری چگالی نوری 107
3-4-6-3- اندازه‌گیری pH 108
3-4-6-4- اندازه‌گیری کشش سطحی و بین‌سطحی 108
3-4-7- آزمایش‌های تغییر ترشوندگی سطوح شیشه‌ای 108
3-4-8- عملیات سیلاب‌زنی قبل از تزریق میکروبی 110
3-4-9- آزمایش‌های سیلاب‌زنی میکرومدل 110
3-4-9-1- روش سیلاب‌زنی محلول باکتریایی 112
3-4-9-2- روش سیلاب‌زنی با محلول سوپرناتانت (بیوسورفکتانت ناخالص) 113

فصل چهارم: نتایج (بحث، بررسی و تحلیل داده‌ها) **114**

عنوان | صفحه

4-1- امکان‌سنجی ایجاد ترشوندگی‌های اولیه متفاوت بر سطوح شیشه‌ای 114

4-1-1- ایجاد ترشوندگی آب‌دوست معدنی 114

4-1-2- ایجاد ترشوندگی نفت‌دوست به روش سیلانیزاسیون 118

4-2- تغییر ترشوندگی سطوح شیشه‌ای 120

4-3- ساخت میکرومدل 123

4-3-1- انتخاب الگوی مناسب جریان 123

4-3-2- بررسی پارامترهای مختلف در میکرومدل 127

4-4- روند رشد میکروارگانیسم 130

4-4-1- چگالی نوری محیط باکتریایی 130

4-4-2- تولید بیومس 131

4-4-3- تغییرات pH 132

4-4-4- تغییرات کشش سطحی و بین‌سطحی 133

4-5- آزمایش‌های سیلاب‌زنی میکرومدل 135

4-5-1- تزریق محلول باکتریایی به میکرومدل نفت‌دوست 135

4-5-2- تزریق محلول سوپرناتانت به میکرومدل نفت‌دوست 138

4-6- آزمایش‌های تعیین تراوایی نسبی 140

4-6-1- تراوایی نسبی در آزمایش تزریق محیط باکتریایی 141

4-6-2- تراوایی نسبی در آزمایش تزریق سوپرناتانت 142

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها 144

5-1- نتیجه‌گیری 144

5-2- پیشنهادها 146

منابع و مآخذ 147

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 1ـ1ـ مقایسه انواع متفاوت ترشوندگی و توزیع سیالات در سنگ (Sukka, 2004) 9

شکل 1ـ2ـ برهم‌کنش‌های نیروهای جاذبه مولکولی در توده مایع (a) و بر سطح (b) (Donaldson and Alam, 2008) 10

شکل 1ـ3ـ (a) صعود سیال ترکننده درون لوله مویین، (b) کاهش ارتفاع سیال غیرترکننده درون لوله مویین (Donaldson and Alam, 2008) 11

شکل 1ـ4ـ رابطه میان زاویه تماس و کشش بین‌سطحی (Tiab and Donaldson, 2004). 15

شکل 1ـ5ـ قطره مایع بر روی سطح جامد (Donaldson and Alam, 2008) 15

شکل 1ـ6ـ زاویه تماس برای حالت‌های متفاوت ترشوندگی آب و نفت، (a) قطره آب در نفت بر روی سطح صاف، (b) قطره نفت بر روی سطح صاف، (c) آب و نفت درون لوله مویین 16

شکل 1-7– تابعیت زاویه تماس از وزن مولکولی (Stegemeier and Jensen,1959) 18

شکل 1ـ8ـ نمونه‌ای شبیه‌سازی شده از مولکول آسفالتین (Silva and Intevep, 1983) 21

شکل 1ـ9ـ گروه‌های عاملی مؤثر بر مکانیزم بر هم‌کنش‌های قطبی (Buckley et al.,1998). 24

شکل 1ـ10ـ تأثیر حضور آب بر باردارشدن مرزها و برهم‌کنش اسید- باز (Buckley et al., 1998) 25

شکل 1ـ11ـ بازده بازیافت نفت به صورت تابعی از آب تزریقی و ترشوندگی (Tiab and Donaldson, 2004). 29

شکل 1ـ12ـ اشباعیت نفت باقی‌مانده بر اساس اندیس ترشوندگی آموت ـ هاروی برای ماسه سنگ‌های Berea (Anderson, 2006) 30

شکل 1ـ13ـ اشباعیت نفت باقی‌مانده بر اساس اندیس ترشوندگی آموت ـ هاروی برای ماسه‌سنگ‌های دیگر (Anderson, 2006). 31

شکل 1ـ14ـ اشباعیت نفت باقیمانده بر اساس اندیس ترشوندگی آموت ـ هاروی برای چند سنگ کربناته (Anderson, 2006) 31

شکل 1-15- منحنی فشار مویینگی برای سنگ نفت‌دوست (Killins et al., 1953) 33

شکل 1-16- تأثیر ترشوندگی بر منحنی‌های فشار مویینگی سطوح آب‌دوست، الف- تخلیه، ب- آشام (Morrow et al., 1973) 34

شکل 1-17- اثر ترشوندگی بر تراوایی نسبی (Morrow et al., 1973) 38

شکل 1-18- آرایش سه بخشی مغزه (Geffen, 1951) 41

شکل 1-19- مراحل تشکیل بیوفیلم (Harrison et al., 2006) 47

شکل 1-20- جفت لایه الکترونی 51

شکل 1-21- اثر غلظت بر روی برهم‌کنش‌های وان‌دروالس و الکتروستاتیک (Israelachvili, 1997) 54

شکل 3-1– میکرومدل شیشه‌ای 77

عنوان **صفحه**

شکل3-2– پمپ سرنگی دوتایی.....79
شکل3-3– دستگاه اندازه‌گیری فشار 79
شکل3-4– میکروسکوپ دیجیتال Dino 80
شکل 3-5– فرمانتور 81
شکل 3-6- طیف نورسنج.....83
شکل 3-7- دستگاه سانتریفیوژ 83
شکل 3-8- دستگاه آنالیز قطره.....84
شکل 3-9- اندازه‌گیری زاویه تماس به روش قطره چسبان: (الف) حالتی که قطره روی سطح قرار دارد، ب) حالتی که قطره زیر سطح قرار دارد.....85
شکل 3-10- روش قطره آویزان 86
شکل 3-11- محیط نرم‌افزار Corel Draw.....87
شکل 3-12- محیط نرم‌افزاری LabVIEW.....89
شکل 3-13 – یک تصویر آنالیز شده از میکرومدل اشباع از آب.....99
شکل 3-14 – سیستم سیلاب‌زنی اندازه‌گیری تراوایی نسبی به روش حالت پایا.....101
شکل 3-15 – نتایج آزمایش گسترش قطره با استفاده از محیط‌های کشت و منابع کربنی متفاوت هنگام استفاده از گونه *Enterobacter Cloacae* (Sarafzadeh, 2013).....104
شکل 3-16 – آزمایش گسترش قطره با استفاده از منبع کربنی روغن آفتابگردان 105
شکل 3-17 – قطره نرمال دکان بر روی سطح درون محیط آب مقطر 109
شکل3-18 – محیط نرم‌افزاری دستگاه DSA-100 برای محاسبه زاویه تماس 109
شکل 4-1- رسوب حاصل از محلول 50 میلی‌مولار Na_2CO_3 و $CaCl_2$: الف) پیش از شستشو، ب) پس از شستشو 115
شکل 4-2- رسوب حاصل از محلول 100 میلی‌مولار Na_2CO_3 و $CaCl_2$: الف) پیش از شستشو، ب) پس از شستشو 115
شکل 4-3- رسوب حاصل از محلول 200 میلی‌مولار Na_2CO_3 و $CaCl_2$: الف) پیش از شستشو، ب) پس از شستشو 116
شکل 4-4 – رسوب حاصل از 100cc محلول 2/6 میلی‌مولار $CaCO_3$، pH=3/43.....116
شکل 4-5 – رسوب حاصل از 100cc محلول 5/7 میلی‌مولار $CaCO_3$، pH=5/77.....117
شکل 4-6 - سطح حاصل از دو بار رسوب دهی 100cc محلول 5/7 میلی‌مولار $CaCO_3$، pH=5/77 : الف) پیش از شستشو، ب) پس از شستشو 118
شکل 4-7- زوایای تماس قطره آب بر روی سطح شیشه در روش سیلانیزاسیون، مدت زمان تماس سطح با محلول سیلان: الف) 10 دقیقه، ب) 20 دقیقه ج) 30 دقیقه.....118
شکل 4-8 – تصاویر میکروسکوپی پیش و پس از تأثیر محیط باکتریایی بر یک میکرومدل نفت‌دوست‌شده به روش سیلانیزاسیون 120

عنوان **صفحه**

شکل 4-9 - اثر محلول باکتریایی انتروباکتر بر ترشوندگی سطح شیشه آب‌دوست 121
شکل 4-10- اثر محلول باکتریایی انتروباکتر بر ترشوندگی سطح شیشه نفت‌دوست 121
شکل 4-11- اثر محصولات باکتریایی انتروباکتر بر ترشوندگی سطح شیشه نفت‌دوست 122
شکل 4-12 – طرح چند الگوی مختلف جریان در میکرومدل و نتایج سیلاب‌زنی در آنها 125
شکل 4-13 – الگوی جریان نهایی انتخاب شده در میکرومدل 126
شکل 4-14 – تفاوت عرض مسیرهای الگوی جریان در میکرومدل 127
شکل 4-15 – تغییرات بازیافت نفت (٪ نفت اولیه درجا) با افزایش اختلاف فشار (اینچ آب) 128
شکل 4-16 – توزیع جریان سیالات در یک نقطه ثابت در سیلاب‌زنی میکرومدل پس از رسیدن به حالت پایا با شدت جریان-های مختلف آب: الف) 5 µl/min، ب) 7 µl/min، ج) 10 µl/min 130
شکل 4-17 - نمودار تغییرات چگالی نوری محیط باکتریایی (در طول موج 600 نانومتر) با زمان 131
شکل 4-18 – نمودار تغییرات غلظت بیومس با زمان 132
شکل 4-19 – نمودار تغییرات pH محیط باکتریایی با زمان 133
شکل 4-20 – تغییرات کشش سطحی محلول باکتریایی با زمان 134
شکل 4-21 – پروفایل کشش بین‌سطحی محلول باکتریایی و محلول سوپرناتانت با نفت خام مسجد سلیمان 134
شکل 4-22 – میزان برداشت نفت در آزمایشهای سیلاب‌زنی محلول باکتریایی 136
شکل 4-23 – توزیع سیال در چند نقطه از میکرومدل: الف- پیش از زمان ماند، ب- پس از زمان ماند 137
شکل 4-24 – میزان برداشت نفت در آزمایشهای سیلاب‌زنی محلول سوپرناتانت 139
شکل 4-25– تأثیر بیوسورفکتانت بر توزیع سیالات: الف- پیش از آغاز زمان ماند، ب- پس از سیلاب‌زنی نهایی 140
شکل 4-26 – تغییرات منحنی تراوایی نسبی میکرومدل تحت تأثیر محیط میکروبی 142
شکل 4-27 – تغییرات منحنی تراوایی نسبی میکرومدل تحت تأثیر محصولات باکتریایی 143

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول 1ـ1ـ محصولات میکروبی و سهم آنها در ازدیاد برداشت نفت 4

جدول 1ـ2ـ محدوده زاویه تماس برای حالتهای متفاوت ترشوندگی 17

جدول 1ـ3ـ اثر برهم‌کنش‌های مختلف در تغییر ترشوندگی سنگ مخزن (Liu and Buckley, 1999). 27

جدول 1-4- تغییر شاخص ترشوندگی USBM به دلیل اثر باکتری در سیستم‌های Hele-Shaw که با شن‌های آب‌دوست و نفت-دوست پر شده‌اند و با آب نمک و نفت خام اشباع شده‌اند (Donaldson and Alam, 2008). 35

جدول 1-5- راهنمای تعیین ترشوندگی سیستم از روی مشخصات اشباعیت و تراوایی نسبی (Creig., 1971)..... 39

جدول 1-6- محدوده غلظت ماتریس‌های بیوفیلم (Sutherland, 2001)..... 45

جدول 1-7- بیوسورفکتانت‌های تولیدشده به وسیله میکروارگانیسم‌ها (Van Hamme et al., 2006)..... 58

جدول 3-1– ویژگی‌های نفت خام مسجد سلیمان..... 89

جدول 3-2– ترکیب درصد اجزای نفت مخزن و نفت دو فازی شده 90

جدول 3-3– وزن مولکولی نفت با ترکیبات مختلف 91

جدول 3-4– ویسکوزیته نفت در دماهای مختلف..... 91

جدول 3-5- مشخصات فیزیکی آب شور 92

جدول 3-6- مشخصات شیمیایی آب شور..... 92

جدول 3-7- درصد اجزای آب شور ساختگی استفاده شده در آزمایش‌ها 93

جدول 3-8- ترکیبات موجود در بیوسورفکتانت تولیدی توسط انتروباکتر 94

جدول 3-9- درصد ترکیبات موجود در محیط کشت MSSO..... 95

جدول 3-10- درصد ترکیبات در محلول حاوی عناصر کم‌مقدار ولین 96

جدول 3-11- چگالی نوری محلول باکتریای در محیط های کشت مختلف 102

جدول 3-12- شرایط فرآیندی فرمانتور 107

جدول 4-1 – افت فشار و میزان نفت باقی‌مانده در میکرومدل در شدت جریان‌های مختلف تزریق آب..... 128

جدول 4-2 – مشخصات میکرومدل شماره 1 135

جدول 4-3 – مشخصات میکرومدل شماره 2 138

کوتاه نوشت‌ها

g	شتاب جاذبه
h	ارتفاع سیال
r	شعاع لوله مویین
P	فشار
P_c	فشار مویینگی
P_b	فشار نقطه حباب
$OOIP$	نفت اولیه درجا
σ	کشش سطحی
σ_{ow}	کشش بین‌سطحی میان آب و نفت
σ_{os}	کشش بین‌سطحی میان نفت و جامد
σ_{ws}	کشش بین‌سطحی میان آب و جامد
θ	زاویه خط تماس نفت، آب، جامد
D_e	قطر استوایی قطره
D_s	قطر افقی قطره در فاصله D_e از نوک قطره
H	ضریب تصحیح
ρ	چگالی
$\Delta\rho$	اختلاف چگالی دو فاز
μ_i	ویسکوزیته فاز i
u_i	سرعت ظاهری فاز i
q_i	شدت جریان حجمی فاز i
A	سطح مقطع جریان
L	طول محیط متخلخل
k	تراوایی مطلق
k_r	تراوایی نسبی

k_{ro}	تراوایی نسبی نفت
k_{rw}	تراوایی نسبی آب
k_{rocw}	تراوایی نسبی نفت در اشباعیت آب باقی‌مانده
k_{rwro}	تراوایی نسبی آب در اشباعیت نفت باقی‌مانده
n_o	ضریب ثابت تجربی رابطه Corey برای محاسبه تراوایی نسبی نفت
n_w	ضریب ثابت تجربی رابطه Corey برای محاسبه تراوایی نسبی آب
S_w	میزان اشباعیت آب
S_o	میزان اشباعیت نفت
S_{wi}	میزان اشباعیت آب باقی‌مانده
S_{or}	میزان اشباعیت نفت باقی‌مانده
S_{wm}	حداکثر اشباعیت آب
S_{we}	عدد بدون بعد $(S_w-S_{wi})/(1-S_{wi})$
S_{orw}	میزان اشباعیت آب در نقطه اشباعیت نفت باقی‌مانده
IFT	کشش بین‌سطحی
ST	کشش سطحی

پیشگفتار

نفت خام در شبکه مویین پیچیده‌ای از مخازن نفتی قرار دارد. حداکثر ٪45-40 نفت اولیه درجا[1] طی دو مرحله بازیافت اولیه[2] و بازیافت ثانویه[3] بازیابی می‌شود. بنابراین با عملیات معمول بازیافت نفت اغلب دو سوم نفت در مخزن باقی می-ماند (Sen, 2008). برداشت اولیه، نفت و گاز را با استفاده از فشار طبیعی مخزن تولید می‌کند. در برداشت ثانویه، چاه‌های نفتی با تزریق سیالات تحریک می‌شوند. تکنیک‌های متفاوتی برای تزریق سیالات به مخزن نفتی و تقویت نیروهای طبیعی در بازیافت ثانویه وجود دارد. زمانی که سیال تزریقی آب باشد، فرآیند سیلاب‌زنی[4] نامیده می‌شود. برداشت اولیه 5 تا ٪10 کل نفت درجا را تولید می‌کند و بازده برداشت در مرحله ثانویه از ٪10 تا ٪40 نفت درجا متغیر است. افزایش نیاز فزاینده به نفت خام به عنوان حیاتی‌ترین منبع انرژی در جهان از یک سو و افزایش هزینه اکتشاف از سوی دیگر محققین را بر آن داشته‌است تا با استفاده از تکنولوژی‌های خاص درصدد استخراج نفت بر جای مانده و غیر قابل استحصال در مخازن پس از مرحله برداشت ثانویه برآیند.

بازیافت ثالثیه[5] یا روش‌های ازدیاد برداشت نفت[6] برای تولید نفت باقی‌مانده در مخزن به کار می‌رود. انواع فرآیندهای ازدیاد برداشت که در صنعت نفت انجام می‌شوند عبارتند از: روش‌های گرمایی، روش‌های شیمیایی، تزریق گاز و روش‌های میکروبی (Green and Whillhite, 1998).

استفاده صحیح از منابع نفتی کشور به منظور افزایش طول عمر آنها و برخورداری نسل‌های آینده از این ذخایر خدادادی ایجاب می‌کند تا با مدیریت صحیح این منابع آشنا شویم. از نکات قابل توجه در مدیریت مخازن، اتخاذ روش‌هایی برای حفظ و صیانت مخزن، بالا بردن راندمان تولید و سعی بر نگه داشتن آن در حد مطلوب در طول زمان می‌باشد.

در شرایطی که اکثریت قریب به اتفاق مخازن کشور به طور متوسط ضریب بازیافت حدود ٪24 دارند، مهندسان مخزن به این نتیجه رسیده‌اند که با به کارگیری فناوری‌های پیشرفته ازدیاد برداشت نفت می‌توان این ضریب را به میزان قابل ملاحظه‌ای را افزایش داد.

در میان روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی، یکی از روش‌های نوین پیشنهاد شده روش میکروبی می‌باشد. این روش که از جنبه‌های نوین کاربرد علوم بیوتکنولوژی در صنعت نفت می‌باشد، یک روش کم هزینه و سازگار با محیط زیست است، به آسانی در میدان انجام می‌گیرد و به تصحیح تجهیزات تزریق آب موجود نیازی ندارد. هم‌چنین کارخانه‌های تولید سلول میکروبی به انرژی ورودی کمی نیاز دارند تا عوامل MEOR را تولید کنند. به علاوه کاربرد

[1] - Original Oil In Place (OOIP)
[2] - Primary Recovery
[3] - Secondary Recovery
[4] - Water flooding
[5] - Tertiary Recovery
[6] - Enhanced Oil Recovery

فرآیندهای میکروبی مستقیماً به قیمت جهانی نفت خام بستگی ندارد. با توجه به تجربه‌های میدانی انجام شده، فرآیند ازدیاد برداشت میکروبی یک روش مؤثر در مخازن کربناته و ماسه سنگی می‌باشد. تمامی این موارد روش ازدیاد برداشت میکروبی را به یک روش اقتصادی مؤثر و کارا برای استفاده در مخزن تبدیل می‌کند. در این رابطه مکانیزم‌ها را می‌توان در چند دسته کلی بیان نمود. تغییر ترشوندگی سطوح مخزن، تغییر نیروهای بین‌سطحی میان سیالات موجود در مخزن، تغییر ساختار محیط متخلخل توسط تولیدات زیستی و بهبود تراوایی، تولید گاز و شکستن زنجیره‌های هیدروکربنی نمونه-هایی از این مکانیزم‌ها هستند (Crescente et al., 2006).

با وجود دارا بودن ویژگی‌های خاص و هم‌چنین حصول نتایج آزمایشگاهی و میدانی بسیار خوب و امیدوارکننده در استفاده از میکروب‌ها برای بهبود بازیافت نفت از مخازن نفتی، این شیوه هنوز به یک روش رایج برای افزایش بهره برداری نفت در جهان درنیامده‌است. از دلایل اصلی این موضوع می‌توان به پیچیدگی‌های موجود در این روش و عدم توانایی در تفسیر نتایج حاصل اشاره کرد، زیرا این امر موجب می‌شود تا نتوان نتیجه حاصله از به کارگیری این شیوه را به طور کامل پیش‌بینی نمود (Mudgalya, 2007). دانستن مکانیسم غالب در هر فرآیند و عوامل تأثیرگذار بر آن، نقش مهمی در درک بهتر سیستم دارد و به متخصصین در افزایش بازدهی سیستم کمک می‌کند. به همین منظور در انجام این تحقیق آزمایش‌ها در میکرومدل‌های شیشه‌ای انجام شد تا امکان بررسی مکانیسم‌های مؤثر به روش دیداری وجود داشته باشد. این تحقیق گامی در جهت شناسایی بهتر مکانیسم‌های ازدیاد برداشت میکروبی از مخازن نفتی و دست‌یابی به شرایط بهینه از نظر خصوصیات سنگ مخزن می‌باشد.

فصل اول

مبانی تحقیق

ازدیاد برداشت نفت به روش میکروبی، یکی از روش‌های ازدیاد برداشت نفت است که از میکروارگانیسم‌ها و محصولات متابولیکی آنها برای بهبود تولید نفت در مخازن استفاده می‌کند. قسمت عمده، عملیات MEOR که به تلاش‌های میدانی منجر شده‌اند در بیست سال اخیر تکمیل گردیده‌اند (Gabitto, 2006). MEOR به عنوان روشی مؤثر برای چاه‌هایی با تولید کم (کمتر از 10 بشکه در روز) شناخته شده‌است.

محدوده وسیعی از محصولات متابولیکی میکروارگانیسم‌ها در مخازن نفتی قرار می‌گیرند. این محصولات به فاکتورهای زیادی وابسته‌اند:

- شرایط محیطی مانند فشار، دما و شوری مخزن
- ماده مغذی مهیا شده برای باکتری
- میکروب‌های خاص تزریق شده به سازند

برخی محصولات متابولیکی گازهایی مانند متان، هیدروژن و دی اکسید کربن، حلال‌هایی مانند الکل‌ها، پلیمرهایی مانند پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها و سورفکتانت‌ها هستند (Doghaish, 2008).

1ـ1ـ مکانیسم‌های افزایش برداشت در روش MEOR

رشد میکروب‌ها در مخازن نفتی می‌تواند برداشت نفت باقی‌مانده را هم در مخازن آب‌دوست و هم در مخازن نفت-دوست، افزایش دهد. میکروب‌ها قادرند ترشوندگی سطح را از نفت‌دوست به آب‌دوست و بالعکس تغییر دهند